

МИФЫ О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗВЯЗКИ ШИН ПИТАНИЯ И ЗЕМЛЯНОГО СЛОЯ ПЛАТЫ

БРЮС АРЧЕМБОЛТ (BRUCE ARCHAMBEAULT), руководитель отдела разработки, IBM Corporation Research Triangle Park

Предметом жарких дискуссий между разработчиками часто становятся вопросы о том, какое количество развязывающих конденсаторов следует считать правильным выбором, а также какие значения емкости оптимальны. В статье на основе исследований убедительно развенчиваются многие заблуждения о развязке между слоями питания и земли платы.

ВВЕДЕНИЕ

Использование развязывающих конденсаторов, находящихся между шинами питания и земли на печатной плате, является стандартным способом обеспечить правильное функционирование устройства и уменьшить электромагнитные помехи. Между разработчиками всегда ведутся споры о том, сколько развязывающих конденсаторов необходимо установить на плате и какие значения у них должны быть. Одни правила требуют, чтобы у каждого вывода микросхемы был развязывающий конденсатор, тогда как другие диктуют, чтобы на каждую сторону СБИС приходился, по крайней мере, один развязывающий конденсатор. Третьи правила требуют распределять конденсаторы равномерно по всей площади платы.

В технической литературе этому вопросу уделено очень мало внимания, а следование принципу «безопасность превыше всего» часто значительно усложняет схемы. На самом деле, многие из этих правил основаны на мифах, которые очень трудно развеять.

Традиционно выбор параметров развязывающих конденсаторов базируется, главным образом, на привычках и опыте разработчиков. Как правило, для развязки выбираются конденсаторы емкостью 0,01 или 0,1 мкФ, а конденсаторы небольшой емкости устанавливаются параллельно главному развязывающему конденсатору, обеспечивая ВЧ- и НЧ-фильтрацию. Однако вторичные резонансы (явления, при которых емкость одного конденсатора резонирует с индуктивностью другого и индуктивностью слоев между ними) могут привести к отрицательным последствиям, если несколько конденсаторов оказываются в непосредственной близости друг от друга.

Известно, что нелегко обеспечить оптимальную развязку между шинами питания и земли. Учитывая, что многие современные устройства работают на тактовых частотах в диапазоне 400–800 МГц, очевидна необходимость оптимизации схемы развязки на печатной плате.

Имеются две основные причины установить развязку между силовой и земляной шинами. Первая из них — функциональность, т.е. возможность использования развязывающего конденсатора в качестве источника накопленного заряда, который поступает по низкоиндуктивному тракту при коммутации ИС. Если этот конденсатор поставляет весь необходимый ток для ИС, напряжение на ее шине питания остается постоянным, каким бы ни было напряжение источника питания. Если же конденсатор не в состоянии обеспечить требуемого тока, напряжение на шине питания микросхемы временно понижается, пока не будет обеспечен достаточный ток, или пока потребность в нем не исчезнет. При недостаточном токе может произойти функциональный сбой в работе ИС, поэтому необходимо разместить развязывающие конденсаторы ближе к силовым выводам ИС и обеспечить низкоиндуктивные соединения между ними и слоем с шиной питания платы, между земляными выводами ИС и земляным слоем, а также между развязывающим конденсатором и двумя этими слоями.

Вторая причина использования развязывающих конденсаторов заключается в необходимости снизить шум между слоем шин питания и земли, уменьшив, таким образом, электромагнитные помехи. Если на краю платы находится отверстие или он прилегает к металлическому корпусу, плата может излучать помехи. Другим нежелательным эффек-

том является попадание шума на выходы разъема и далее на кабели.

Причиной возникновения шума может стать либо временное уменьшение напряжения на выводе питания микросхемы, когда ток с развязывающего конденсатора недостаточно высок, либо помеха между слоями шины питания и земли, которая появляется из-за наведенного тока через металлизированные сквозные отверстия при подаче импульсных сигналов высокой частоты. Измерения на функционирующей микросхеме показали, что относительные величины этих двух источников шума между стандартными слоями шин питания и земли примерно одинаковые. Для подавления шума между ними применяются развязывающие конденсаторы.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗВЯЗЫВАЮЩЕГО КОНДЕНСАТОРА

Поскольку печатная плата ПК на практике представляет собой достаточно сложное устройство, очень трудно изолировать ее от различных электромагнитных помех и проследить, насколько эффективно позволяет то или иное средство устранить шумы. По этой причине для анализа разных конфигураций развязывающих конденсаторов была создана специализированная печатная плата.

ОПИСАНИЕ ТЕСТОВОЙ ПЛАТЫ

В этом исследовании была задействована четырехслойная печатная плата размером 10×12 дюймов. Это типичный размер плат, используемых в современной электронной продукции. Поскольку тестовая плата работала в диапазоне частот 30 МГц...1 ГГц, потребовался воспроизводимый и хорошо контролируемый метод подключения.

Драйвер светодиодов высокой яркости упрощает решения для зонального освещения

Интеллектуальный линейный драйвер светодиодов для многоканальных светодиодных систем



Со светодиодным драйвером LM3466 проектирование эффективной, сбалансированной по току и надежной многоканальной системы освещения становится как никогда простым делом. Используя стандартный AC/DC-источник питания постоянного тока, всего один драйвер LM3466 и несколько пассивных компонентов, можно довольно быстро спроектировать светодиодную матрицу, в которой используется множество цепочек светодиодов.

Чтобы поддерживать одинаковую величину тока в светодиодных цепочках, требуется применение сложного схемного решения и множества компонентов. Светодиодный драйвер LM3466 решает эти проблемы с помощью уникальной схемы динамического выравнивания тока. Каждый драйвер LM3466, подсоединенный к простой шине управления, обеспечивает автоматическое выравнивание величины тока в каждой активной цепочке светодиодов независимо от числа цепочек или прямого напряжения в каждой цепочке.



- > Узнай больше
- > Закажи образцы
- > Закажи оценочный модуль

www.ti.com/lm3466

 **National Products**
from Texas Instruments

Ключевые особенности

- Простота использования
 - работает с источником питания постоянного тока без обратной связи
 - требует небольшое число внешних компонентов
- Автоматически выравнивает ток во всех активных светодиодных цепочках
- Надежная система защита от отказов и сигнализации
 - поддерживает практически постоянную яркость на выходе в случае обрыва цепи (отключения) с помощью повторного выравнивания тока в оставшихся активных светодиодных цепочках
 - тепловая защита и защита от снижения напряжения
 - выход состояния сбоя
- Работает при минимальном напряжении, что позволяет максимально увеличить энергоэффективность (до 99%)
- Линейная схема не повышает уровень электромагнитных помех в системе
- Поддерживает рабочие напряжения от 6 до 70 В
- Поддерживает рабочий ток светодиодов на уровне до 1,5 А

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

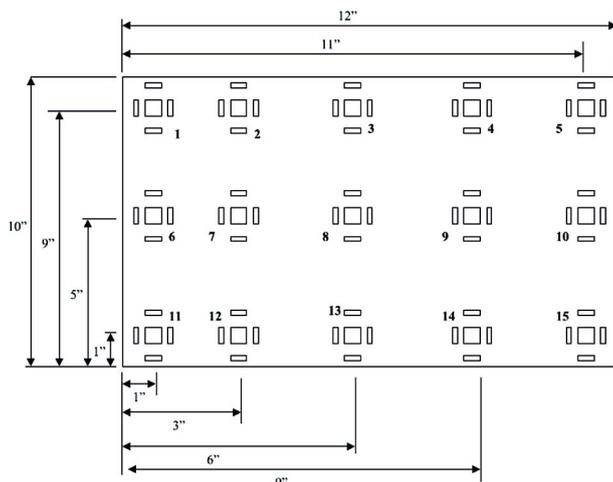


Рис. 1. Конфигурация разъемов SMA

На плату были установлены 15 разъемов SMA, как показано на рисунке 1. Вокруг каждого из этих разъемов были предусмотрены места для развязывающих SMT-конденсаторов. На рисунке 2 показан один из таких участков в увеличенном размере.

На тестовой плате были также предусмотрены дополнительные места под развязывающие конденсаторы, расположенные с постоянными интервалами (см. рис. 3).

Все измерения проводились с помощью анализатора сети и импеданса. Измерения импеданса выполнялись с помощью двухполюсного измерителя, а с помощью четырехполюсного прибора определялась величина S21 (S21 — отношение выходного напряжения к входному). Результаты каждого измерения приведены ниже.

Измерение импеданса в диапазоне 30–1800 МГц позволило лучше понять эффективность работы межслойной емкости, возможности развязывающих конденсаторов и влияние резонансов на плате. Следует заметить, что самым важным параметром является не импеданс отдельных элементов платы, а величина того шума, который наблюдается в удаленных участках платы, например, на стыке с корпусом или

рядом с внешним разъемом. (Шум в этом случае возникает при коммутации в ИС и протекании тока с шин питания и земли). Таким образом, передаточная функция S21 дает лучшее представление о параметрах конфигурации развязки. В этом случае необходимо обеспечить минимально возможное значение S21 между потенциальным источником шума и удаленным участком платы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОНФИГУРАЦИИ РАЗВЯЗЫВАЮЩИХ КОНДЕНСАТОРОВ

В процессе эксперимента измерялись разные конфигурации развязки; при этом параметры конденсаторов менялись. Исследовалась также разница между локальной и распределенной развязками. Наконец, изучалось, как влияет на развязку количество конденсаторов и значения их емкости.

При измерении передаточной функции S21 были обнаружены заметные резонансные эффекты на высоких частотах. На частотах выше 200 МГц доминирующим фактором стал резонанс, обусловленный размерами платы. Резонансная частота наблюдалась или не наблюдалась в

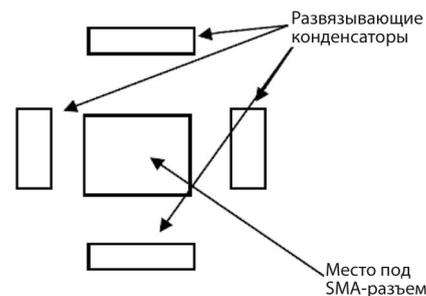


Рис. 2. Площадь, отведенная под SMA-разъем на тестовой плате

зависимости от того, на каком участке платы проводились измерения, однако с точки зрения обеспечения ЭМС невозможно управлять размещением определенных компонентов таким образом, чтобы избежать резонанса. В проведенных экспериментах величина S21 измерялась между центральным и угловым участками платы (разъемы 8–1, см. рис. 1), чтобы избежать эффекта резонанса в рассматриваемом частотном диапазоне (< 2 ГГц).

Дальнейшие испытания с разными значениями емкостей при разном расположении конденсаторов показали, что определенное значение резонансной частоты могло меняться (при добавлении конденсаторов на плату или их удалении), тогда как общий вид и уровень импеданса резонансных пиков оставался неизменным. Это обстоятельство указывает на то, что весь диапазон резонансных частот необходимо рассматривать как резонансный. Поскольку резонансная частота меняется с переходом от одного участка платы к другому, все частоты следует считать резонансными; при этом требуется уменьшить передаточную функцию S21 во всем диапазоне значений. Необходимо выполнить анализ всего частотного спектра с учетом физических размеров платы. В этом случае SPICE-анализ развязки цепи неэффективен, т.к. речь идет о сигналах высокой частоты.

СРАВНЕНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННОЙ РАЗВЯЗОК

Как уже говорилось, между разработчиками ведутся споры о том, куда устанавливать развязывающие конденсаторы — ближе к источнику шума (т.е. рядом с выводами питания и земли ИС) или распределить их по всей плате. Для определения оптимального подхода проектирования измерялась передаточная функция S21 платы без конденсаторов. Проводились также измерения на плате с четырьмя конденсаторами по 0,01 мкФ, установленными на расстоянии 0,1 дюйма от разъема SMA. Наконец, были выполнены измерения

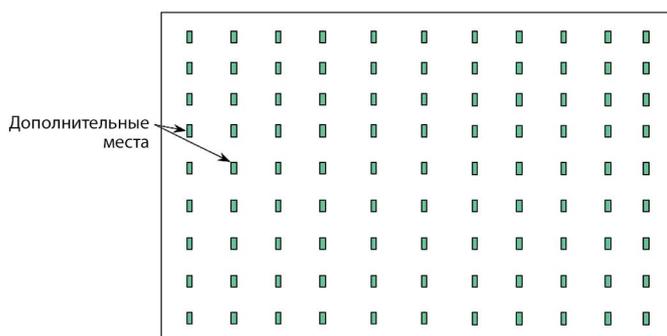


Рис. 3. Дополнительные места под развязывающие конденсаторы на тестовой плате

с использованием 0,01-мкФ конденсаторов, распределенных по всей плате.

На рисунке 4 представлены результаты измерения S_{21} между портами 8 и 10 на тестовой плате. Следует заметить, что для наглядности значения передаточной функции представлены в дБ (если $S_{21} = 1$, или 0 дБ, это значит, что напряжение на удаленном участке платы равно напряжению источника питания). Из этого рисунка видно, что разница между случаем, когда на плате отсутствуют конденсаторы, и случаем с четырьмя конденсаторами, установленными рядом с источником шума, наиболее заметна на частотах ниже 50 МГц. На частотах выше 200 МГц улучшения очень незначительны, даже если на всей плате установлены развязывающие конденсаторы. (С точки зрения обеспечения ЭМС, чем меньше S_{21} , тем лучше). Такие скромные результаты объясняются большой индуктивной составляющей импеданса 0,01-мкФ SMT-конденсатора (типоразмера 0805), а также высокой индуктивностью площадок и отверстий на плате.

Таким образом, стратегия распределенной развязки оказалась наилучшей с точки зрения обеспечения ЭМС. Однако для целостности сигнала требуется, чтобы рядом с микросхемой, работающей на больших тактовых частотах, находился развязывающий конденсатор с минимальной эквивалентной последовательной индуктивностью (ESL).

ЧИСЛО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ РАЗВЯЗЫВАЮЩИХ КОНДЕНСАТОРОВ

В исследовании зависимости параметров развязки от числа конденсаторов, равномерно распределенных по печатной плате, использовались компоненты SMT5 на 0,01 мкФ. Значения передаточной функции S_{21} измерялись на нескольких портах платы. На передаточные функции во всех тестах не влияло относительное расположение того или иного участка платы, поэтому мы рассматриваем только одну пару «источник-приемник».

Как видно из рисунка 5, добавление конденсаторов привело к уменьшению S_{21} в диапазоне ниже 200–400 МГц. На высоких частотах все значения S_{21} для разных случаев становятся немного меньше (несмотря на изменения резонансных значений частот) по мере добавления конденсаторов.

В эксперименте максимальное число распределенных конденсаторов составило 99. При этом на 1 кв. дюйм платы приходился 1 конденсатор. Такая плотность монтажа конденсаторов намного выше, чем допускается в реальной продукции.

Недавно дискутировался вопрос о применении комбинации т.н.

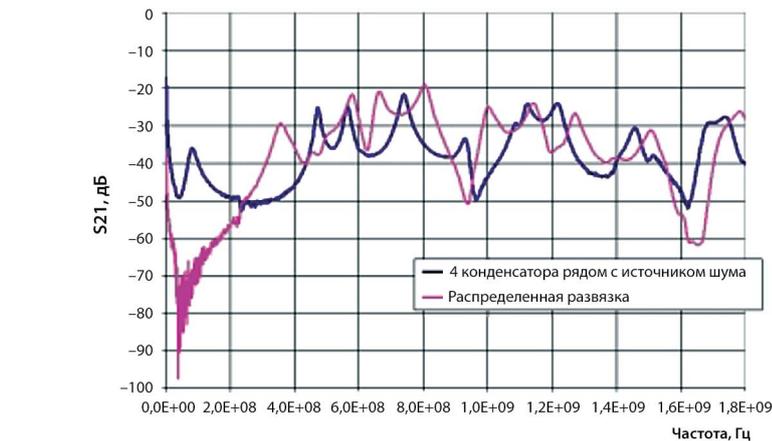


Рис. 4. Сравнение передаточных функций S_{21} платы с распределенной и локальной развязками (разъемы 8–10)

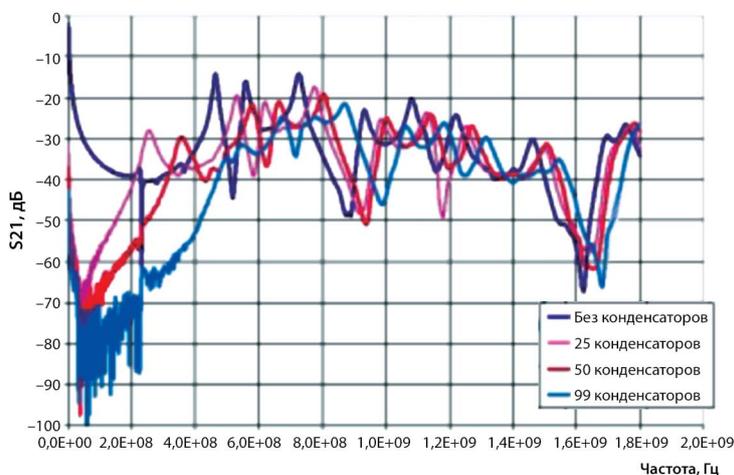


Рис. 5. Передаточная функция S_{21} между центральным и угловым разъемами платы (8–1) с установленными развязывающими конденсаторами на 0,01 мкФ

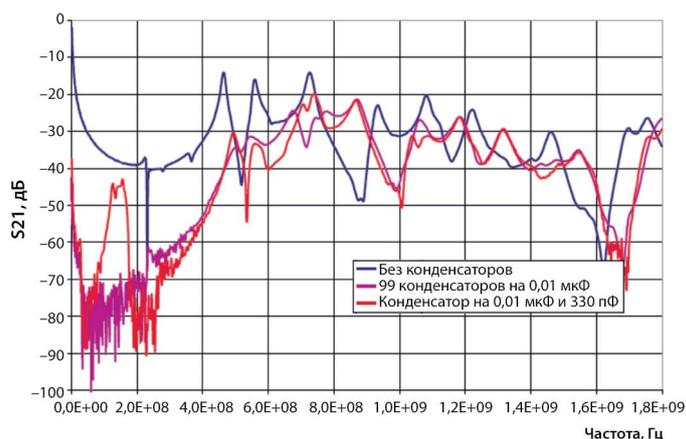


Рис. 6. Сравнение методов использования развязывающих конденсаторов с одним и двумя значениями емкости

ВЧ-конденсаторов и обычных конденсаторов для «регулирования» развязки в широком диапазоне частот. Большая часть этого исследования выполняется с помощью анализа цепей SPICE, который не учитывает

трехмерность платы при полном гармоническом анализе.

Чтобы определить поведение S_{21} на высоких частотах, сравнивалась плата с 99 конденсаторами на 0,01 мкФ и плата с тем же количеством конденсаторов

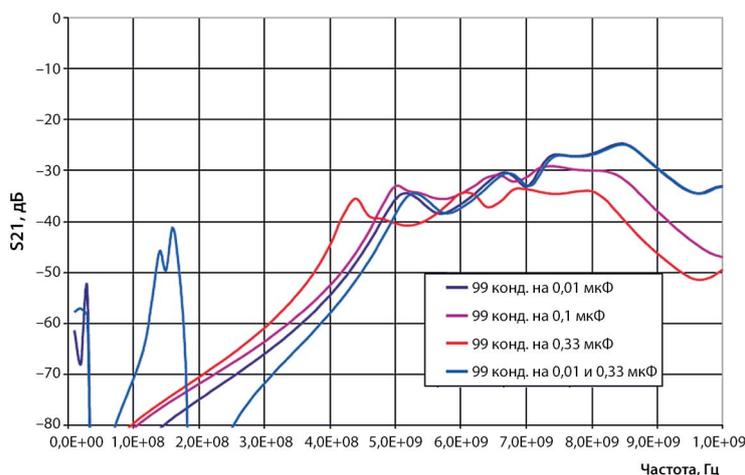


Рис. 7. Передаточная функция S21 (центральный — угловой разъемы платы) при использовании конденсаторов разных емкостей (плата размером 10×12 дюймов)

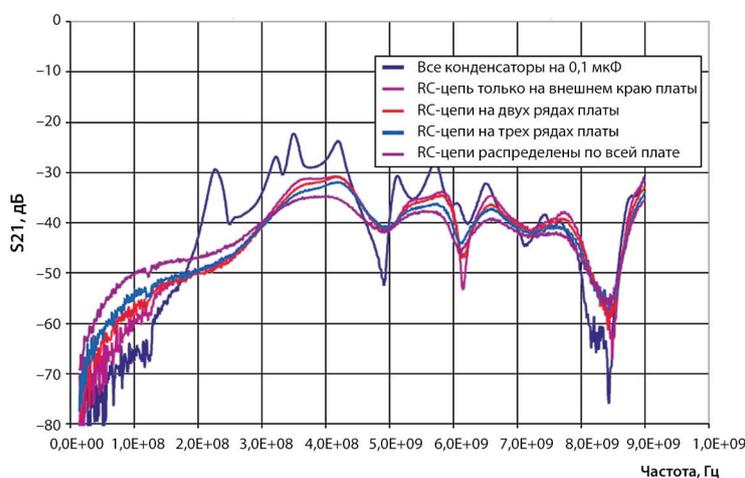


Рис. 8. Передаточная функция S21 при использовании конденсаторов с большим значением ESR (10 Ом), разъемы 8–1

на 330 пФ. Эти эксперименты повторялись для разных комбинаций портов. Поскольку данные хорошо согласовывались друг с другом, приводится только один результат измерений.

Из рисунка 6 видно, что на частотах ниже 75 МГц поведение S21 очень похоже на случай, когда используются только конденсаторы на 0,01 мкФ. Однако значения S21 намного ухудшаются в диапазоне 75–200 МГц из-за вторичных резонансов. Характеристики ВЧ-развязки заметно не улучшаются при добавлении второго конденсатора. На самом деле, развязка ухудшается в диапазоне частот, где, как правило, наблюдаются большие помехи (50–200 МГц).

Чтобы установить целесообразность использования конденсаторов разных величин, была проведена еще одна серия экспериментов (см. рис. 7).

Емкость конденсатора изменялась с 0,01 до 0,1 и 0,33 мкФ, что не привело к существенному изменению ВЧ-характеристик передаточной функции, т.к. индуктивности конденсатора и отверстий платы на этих частотах вносят наибольший вклад в импеданс этих компонентов. Оптимальным решением в этом случае является выбор SMT-конденсатора наибольшей емкости для выбранного типоразмера.

КОНДЕНСАТОРЫ С ПОТЕРЯМИ

Бытует мнение, что у развязывающих конденсаторов должно быть малое эквивалентное последовательное сопротивление (ESR). Однако на высоких частотах результаты измерения доказывают обратное. На высоких частотах нельзя не учитывать и механический резонанс печатных плат. Для устранения этого эффекта необходимо понизить добротность конту-

ров. Серия экспериментов с использованием конденсаторов с большим ESR (около 10 Ом), установленных последовательно с 0,1-мкФ конденсатором в корпусе SMT, доказали эффективность этого способа подавления резонанса на высоких частотах. На рисунке 8 представлены результаты данных измерений.

ВЫВОДЫ

Результаты тщательно проведенных экспериментов показали, что многие широко распространенные убеждения о развязывающих конденсаторах представляют собой мифы, которые не подтверждаются практикой. Для оптимальной развязки на платах ПК следует учитывать два обстоятельства.

Во-первых, для обеспечения требуемого питания микросхемы конденсатор с низким последовательным сопротивлением устанавливается рядом с ее выводами питания и земли. Однако такой подход даже частично не решает проблемы ЭМС.

Для обеспечения ЭМС конденсаторы распределяются по всей печатной плате, но в этом случае не выполняются требования к функциональности. При определенных условиях конденсатор, установленный рядом с микросхемой, может с успехом решить обе задачи.

Испытания показали, что величина емкости не играет большой роли в улучшении развязки. Рекомендуется использовать максимальную емкость конденсатора, доступную для выбранного типоразмера SMT-конденсатора.

Испытания также показали, что предпочтительнее применять конденсаторы с одним значением емкости, а не с несколькими. Использование конденсаторов с несколькими значениями емкости не улучшает передаточной функции на высоких частотах из-за роста индуктивности отверстий на плате, а на более низких частотах параметры развязки существенно ухудшаются из-за неизбежных резонансов между компонентами платы.

И, наконец, было установлено, что конденсаторы с большим ESR, действительно, на высоких частотах могут способствовать лучшей развязке, если применяются совместно с обычными конденсаторами.

Авторы этого исследования надеются на то, что анализ полученных измерений позволит инженерам лучше понять цену компромисса в каждой конкретной ситуации и расстаться с теми заблуждениями, которые еще бытуют среди разработчиков.

КОММЕНТАРИЙ ЭКСПЕРТА

Александр Карнаушенко, инженер-схемотехник, инновационная компания Promwad



В статье описаны эмпирические исследования типовых подходов по борьбе с электромагнитными помехами. Отметим некоторые моменты.

Для исследования была задействована четырехслойная печатная плата размером 10x12 дюймов как типовая для современных потребностей. Способ и методика проведения исследований хорошо аргументированы, что, собственно, видно и из результатов испытаний.

Априорно, элементы тестовой платы работают в диапазоне частот 30 МГц...1 ГГц. Было бы крайне показательным привести топологическое распределение этих источников шума с указанием хотя бы частоты тактирования и факта согласования импеданса драйверов (т.е. примерный импеданс драйвера, и согласован ли он с нагрузочными элементами). В противном случае, и без проведенных исследований ясно, что распределенная емкостная развязка на большом количестве элементов не будет эффективной. Это и указано в выводах: «Испытания показали, что величина емкости не играет большой роли в улучшении развязки».

То же касается и применения элементов с повышенным эквивалентным последовательным сопротивлением. Без знания топологии

размещения активных элементов, потребления энергии и импеданса драйверов, наверное, не очень технологичный совет – «конденсаторы с большим ESR, действительно, на высоких частотах могут способствовать лучшей развязке, если применяются совместно с обычными конденсаторами», т.к. сразу возникает вопрос: «Сколько надо и где ставить?». Проблемы снижения добротности паразитных резонансных контуров часто удобнее решить применением шунтирующих резисторов, правильно разместив их на плате.

Методы исследования применения разных номиналов для развязывающих конденсаторов, на мой взгляд, не могли привести к определяющим выводам. Так, в испытаниях, видимо, не было возможности воспользоваться конденсаторами типоразмером, для которого паразитные индуктивность и сопротивления сказывались бы в значительно меньшей степени. Это особенно касается конденсатора номиналом 330 пФ в корпусе 0805, использованного в исследованиях. И опять, топология и характеристика активных элементов в большей степени определяют появление резонансов, а значит, и необходимость добавления различных номиналов.

И особое место занимает совершенно справедливый совет: «Для обеспечения требуемого питания микросхемы конденсатор с низким последовательным сопротивлением устанавливается рядом с ее выводами питания и земли». Приведено еще одно доказательство тому, что грамотное использование современных элементов — залог успешных проектов.

Еще один шаг в будущее

TRACO POWER

Серии TEP и TEP WIR



ДОСТУПНЫЕ ЦЕНЫ

- 100, 160 и 200 Вт в размере Half-Brick
- Вход 8.5 - 160 В 2:1 4:1
- Выход 2.6 – 53 В с широкой подстройкой
- Прочность изоляции 2250 В
- Защита от переплюсовки входа
- Высокие значения входных перенапряжений
- Очень высокий КПД 93% & 5 В
- Не требуют громоздких радиаторов
- Дополнительный ЭМ фильтр класса А
- Переходник на DIN-рейку
- Евросертификат для железнодорожного применения

• Москва

Тел.: (495) 660-2855
Факс: (495) 660-2855
E-mail: cmp@argussoft.ru

• Санкт-Петербург

Тел.: (812) 412-0107
Факс: (812) 412-1849
E-mail: spb@argussoft.ru

• Новосибирск

Тел.: (383) 227-1155
Факс: (383) 222-4031
E-mail: nsk@argussoft.ru

• Екатеринбург

Тел.: (343) 378-3242
Факс: (343) 378-3241
E-mail: ural@argussoft.ru

• Казань

Тел.: (843) 293-4100
Факс: (843) 293-4100
E-mail: kazan@argussoft.ru

www.argussoft.ru

ARGUSSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ДИСТРИБЬЮТОР